

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international(43) Date de la publication internationale
4 décembre 2003 (04.12.2003)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2003/100839 A3(51) Classification internationale des brevets⁷ : H01L 33/00(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2003/001615

(22) Date de dépôt international : 28 mai 2003 (28.05.2003)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
02/06486 28 mai 2002 (28.05.2002) FR(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : LU-
MILOG [FR/FR]; Les Moulins, 2720, chemin de Saint
Bernard, F-06220 Vallauris (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) :
LAHRECHE, Hacène [FR/FR]; 5, rue Olivier Noyer,
F-75014 Paris (FR). NATAF, Gilles [FR/FR]; La Closerie
Marina - Bât. A, 495, chemin de la Gabelle, F-06220
Golfe Juan (FR). BEAUMONT, Bernard [FR/FR]; 282,
chemin du Val Martin, F-06560 Valbonne (FR).(74) Mandataires : MARTIN, Jean-Jacques etc.; Cabinet
Regimbeau, 20, rue Chazelles, F-75847 Paris Cedex 17
(FR).(81) États désignés (national) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ,
BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ,
DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK,
LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX,
MZ, NI, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE,
SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,
VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.(84) États désignés (régional) : brevet ARIPO (GH, GM, KE,
LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), brevet
curasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet
européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI,
FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK,
TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,
GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Déclaration en vertu de la règle 4.17 :

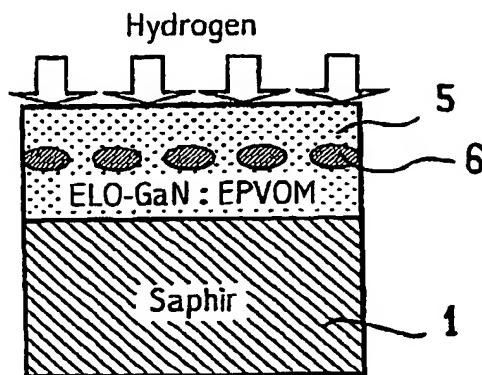
— relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv) pour US
seulement

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale

(88) Date de publication du rapport de recherche
internationale: 8 avril 2004En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abrévia-
tions, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et
abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de
la Gazette du PCT.

(54) Title: METHOD FOR EPITAXIAL GROWTH OF A GALLIUM NITRIDE FILM SEPARATED FROM ITS SUBSTRATE

(54) Titre : PROCÉDE DE RÉALISATION PAR ÉPITAXIE D'UN FILM DE NITRURE DE GALLIUM SÉPARÉ DE SON SUB-
STRAT(57) Abstract: The invention concerns the preparation of gallium ni-
tride films by epitaxy with reduced defect density levels. It concerns a
method for producing a gallium nitride (GaN) film by epitaxial deposi-
tion of GaN. The invention is characterized in that it comprises at least a
step of epitaxial lateral overgrowth and in that it comprises a step which
consists in separating part of the GaN layer from its substrate by em-
brittlement through direct ion implantation in the GaN substrate. The
invention also concerns the films obtainable by said method as well as
the optoelectronic and electronic components provided with said gal-
lium nitride films.(57) Abrégé : La présente invention concerne l'élaboration de films de
nitride de gallium par épitaxie avec des densités de défauts réduites. Elle
a pour objet un procédé de réalisation d'un film de nitride de gallium
(GaN) par dépôt de GaN par épitaxie, caractérisé en ce que le dépôt de
GaN comporte au moins une étape de surcroissance épitaxiale latérale(ELO) et en ce qu'il comporte une étape de séparation d'une partie de la couche de GaN de son substrat par fragilisation par implan-
tation d'ions dans la couche de GaN directement. Elle concerne aussi les films de GaN susceptibles d'être obtenus par ce procédé
ainsi que les composants optoélectroniques et électroniques munis de ces films de nitride de gallium.

WO 2003/100839 A3

TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS

PCT/FR03/01615

Expéditeur : le BUREAU INTERNATIONAL

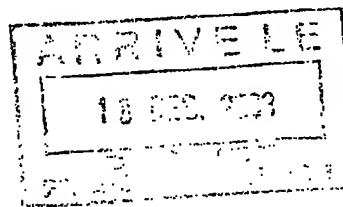
NB

PCT

AVIS INFORMANT LE DÉPOSANT DE LA
COMMUNICATION DE LA DEMANDE
INTERNATIONALE AUX OFFICES DÉSIGNÉS

(règle 47.1.c), première phrase, du PCT)

Destinataire :

MARTIN, Jean-Jacques
Cabinet Regimbeau
20, rue Chazelles
F-75847 Paris Cedex 17
FRANCE

Date d'expédition (jour/mois/année) 04 décembre 2003 (04.12.03)		
Référence du dossier du déposant ou du mandataire 344861/19964		
AVIS IMPORTANT		
Demande internationale n° PCT/FR03/01615	Date du dépôt international (jour/mois/année) 28 mai 2003 (28.05.03)	Date de priorité (jour/mois/année) 28 mai 2002 (28.05.02)
Déposant LUMILOG etc		

1. Il est notifié par la présente qu'à la date indiquée ci-dessus comme date d'expédition de cet avis, le Bureau international a communiqué, comme le prévoit l'article 20, la demande internationale aux offices désignés suivants :

AU, AZ, BY, CH, CN, CO, DE, DZ, EP, HU, JP, KG, KP, KR, MD, MK, MZ, RU, TM, US

Conformément à la règle 47.1.c), troisième phrase, ces offices acceptent le présent avis comme preuve déterminante du fait que la communication de la demande internationale a bien eu lieu à la date d'expédition indiquée plus haut, et le déposant n'est pas tenu de remettre de copie de la demande internationale à l'office ou aux offices désignés.

2. Les offices désignés suivants ont renoncé à l'exigence selon laquelle cette communication doit être effectuée à cette date:

AE, AG, AL, AM, AP, AT, BA, BB, BG, BR, BZ, CA, CR, CU, CZ, DK, DM, EA, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, ID, IL, IN, IS, KE, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MG, MN, MW, MX, NI, NO, NZ, OA, OM, PH, PL, PT, RO, SC, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW

La communication sera effectuée seulement sur demande de ces offices. De plus, le déposant n'est pas tenu de remettre de copie de la demande internationale aux offices en question (règle 49.1a-bis)).

3. Le présent avis est accompagné d'une copie de la demande internationale publiée par le Bureau international le 04 décembre 2003 (04.12.03) sous le numéro WO 03/100839

4. DELAIS pour la présentation d'une demande d'examen préliminaire international et pour l'ouverture de la phase nationale

Le délai applicable pour l'ouverture de la phase nationale sera, sous réserve de ce qui est dit au paragraphe suivant, de 30 MOIS à compter de la date de priorité, non seulement en ce qui concerne tout office élu lorsqu'une demande d'examen préliminaire international aura été présentée avant l'expiration du délai de 19 mois à compter de la date de priorité (voir l'article 39.1)), mais également en ce qui concerne tout office désigné, en l'absence de présentation d'une telle demande d'examen, lorsque l'article 22.1) tel que modifié avec effet au 1^{er} avril 2002 sera applicable audit office désigné. Pour plus de renseignements, voir la *Gazette du PCT* no 44/2001 du 1^{er} novembre 2001, pages 19927, 19933 et 19935, ainsi que le bulletin *PCT Newsletter*, numéros d'octobre et de novembre 2001 et de février 2002.

En pratique, des délais autres que celui de 30 mois vont continuer de s'appliquer, pour des durées variables, en ce qui concerne certains offices désignés et élus. Pour des mises à jour régulières quant aux délais applicables (20, 21, 30 ou 31 mois ou autre délai), office par office, on se reportera à la *Gazette du PCT*, au bulletin *PCT Newsletter* ainsi qu'aux chapitres nationaux pertinents dans le volume II du *Guide du déposant du PCT*, accessibles sur le site Internet de l'OMPI, par l'intermédiaire de liens à partir de diverses pages du site, y compris celles de la *Gazette*, de la *Newsletter* et du *Guide*, à l'adresse suivante : <http://www.wipo.int/pcv/fr/index.html>.

Quant à la présentation d'une demande d'examen préliminaire international, voir le *Guide du déposant du PCT*, volume I/A, chapitre IX. Seul un déposant qui est ressortissant d'un État contractant du PCT lié par le chapitre II ou qui y a son domicile peut présenter une demande d'examen préliminaire international (actuellement, tous les États contractants du PCT sont liés par le chapitre II).

Le déposant est seul responsable du respect de tous les délais visés ci-dessus.

Bureau international de l'OMPI 34, chemin des Colombettes 1211 Genève 20, Suisse	Fonctionnaire autorisé Judith Zahra
n° de télécopieur(41-22) 740.14.35	n° de téléphones(41-22) 338.91.11

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international(43) Date de la publication internationale
4 décembre 2003 (04.12.2003)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 03/100839 A2(51) Classification internationale des brevets⁷ :
H01L 21/20, 21/762(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR03/01615

(22) Date de dépôt international : 28 mai 2003 (28.05.2003)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
02/06486 28 mai 2002 (28.05.2002) FR(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : LU-
MILOG [FR/FR]; Les Moulins, 2720, chemin de Saint
Bernard, F-06220 Vallauris (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) :
LAHRECHE, Hacène [FR/FR]; 5, rue Olivier Noyer,
F-75014 Paris (FR). NATAF, Gilles [FR/FR]; La Closerie
Marina - Bât. A, 495, chemin de la Gabelle, F-06220
Golfe Juan (FR). BEAUMONT, Bernard [FR/FR]; 282,
chemin du Val Martin, F-06560 Valbonne (FR).(74) Mandataires : MARTIN, Jean-Jacques etc.; Cabinet
Regimbeau, 20, rue Chazelles, F-75847 Paris Cedex 17
(FR).(81) États désignés (national) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ,
BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ,
DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK,
LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX,
MZ, NI, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE,
SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,
VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.(84) États désignés (régional) : brevet ARIPO (GH, GM, KE,
LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), brevet
eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet
européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI,
FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK,
TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,
GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Déclaration en vertu de la règle 4.17 :

— relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv)) pour US
seulement

Publiée :

— sans rapport de recherche internationale, sera republiée
dès réception de ce rapportEn ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abrévia-
tions, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et
abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de
la Gazette du PCT.

(54) Title: METHOD FOR EPITAXIAL GROWTH OF A GALLIUM NITRIDE FILM SEPARATED FROM ITS SUBSTRATE

(54) Titre : PROCEDE DE REALISATION PAR EPITAXIE D'UN FILM DE NITRURE DE GALLIUM SEPRE DE SON SUB-
STRAT

(57) Abstract: The invention concerns the preparation of gallium nitride films by epitaxy with reduced defect density levels. It concerns a method for producing a gallium nitride (GaN) film by epitaxial deposition of GaN. The invention is characterized in that it comprises at least a step of epitaxial lateral overgrowth and in that it comprises a step which consists in separating part of the GaN layer from its substrate by embrittlement through direct ion implantation in the GaN substrate. The invention also concerns the films obtainable by said method as well as the optoelectronic and electronic components provided with said gallium nitride films.

(57) Abrégé : La présente invention concerne l'élaboration de films de nitride de gallium par épitaxie avec des densités de défauts réduites. Elle a pour objet un procédé de réalisation d'un film de nitride de gallium (GaN) par dépôt de GaN par épitaxie, caractérisé en ce que le dépôt de GaN comporte au moins une étape de surcroissance épitaxiale latérale (ELO) et en ce qu'il comporte une étape de séparation d'une partie de la couche de GaN de son substrat par fragilisation par implantation d'ions dans la couche de GaN directement. Elle concerne aussi les films de GaN susceptibles d'être obtenus par ce procédé ainsi que les composants optoélectroniques et électroniques munis de ces films de nitride de gallium.

WO 03/100839 A2

3 / PRTS

WO 03/100839

DTT 10/516358
PCT/PTO 24 NOV 2004
PCT/FR03/01615

1

PROCEDE DE REALISATION PAR EPITAXIE D'UN FILM DE NITRURE DE GALLIUM SEPRE DE SON SUBSTRAT

5 La présente invention concerne l'élaboration de films de nitrure de gallium (GaN) par épitaxie avec des densités de défauts réduites.

Elle concerne aussi les composants optoélectroniques et électroniques munis de ces films de nitrure de gallium.

10 Fin 1995, la société Nichia a réalisé une diode laser à partir de nitrures III-V. Un tel résultat a montré qu'on pouvait obtenir une émission laser dans une structure hétéroépitaxiale où la densité de dislocations obtenir une émission laser pendant 10000 heures à condition que la atteignait 10^8 à 10^{10}cm^{-2} . Fin 1997, Nichia a démontré que l'on pouvait structure soit munie d'une couche de GaN de bonne qualité. Il s'agissait de
15 couches de GaN élaborées selon la technologie de surcroissance épitaxiale latérale ELO (Epitaxial Lateral Overgrowth).

Bien que l'on ait longtemps affirmé que les dislocations dans GaN n'agissaient pas comme centres de recombinaison non radiative, il est établi qu'en fait certaines dislocations à composante vis introduisent des centres
20 non-radiatifs et que les performances sont bien supérieures sur une structure de meilleure qualité cristallographique. Ainsi la durée de vie des diodes laser à base de nitrure III-V dépend de manière critique de la densité de dislocations dans les couches de GaN dont elles sont munies.

Tous les efforts actuels convergent vers l'obtention de GaN
25 hétéroépitaxié avec la meilleure qualité cristalline. C'est pourquoi la technique d'épitaxie latérale (ELO) a été largement développée pour GaN avec de nombreuses variantes.

Comme il n'existe pas de films de GaN disponibles d'une surface satisfaisante et en quantité suffisante, les composants à base de nitrure III-
30 V sont élaborés par hétéroépitaxie sur des substrats tels que le saphir, SiC, Si ou autre. Le saphir couramment utilisé comme substrat ne possède pas de plan de clivage, ce qui implique que dans une structure de diode laser à

WO 03/100839

PCT/FR03/01615

2

base de GaN épitaxiée sur saphir, il est difficile de fabriquer des facettes réfléchissantes.

Par ailleurs, l'utilisation d'un substrat comme le saphir présentant à la fois un désaccord de paramètre de réseau et de coefficient de dilatation thermique est responsable de la densité de dislocations très élevée dans les couches hétéroépitaxiales de GaN/saphir.

Différentes technologies de surcroissance épitaxiale latérale ont été développées pour la mise en œuvre de l'ELO, en HVPE (Hydride Vapour Phase Epitaxy ou épitaxie en phase vapeur à partir d'halogénures et d'hydrures), EPVOM (épitaxie en phase vapeur par pyrolyse d'organométalliques) et même par sublimation (CSVT pour Close Space Vapour Transport). Toutes permettent d'obtenir des couches de GaN avec des densités de dislocations inférieures à 10^7 cm^{-2} comparées à 10^8 à 10^{10} avec la technologie standard. Cependant, et c'est inhérent à la technologie employée, il subsiste des zones où la densité de dislocations reste élevée, au-dessus d'ouvertures et de joints de coalescence dans une technologie à une étape d'épitaxie, aux joints de coalescence et au milieu des ouvertures dans une technologie à deux étapes, où lors d'une première étape on procède au dépôt par épitaxie de GaN dans les ouvertures après avoir masqué et gravé, notamment par photolithographie, une couche de diélectrique pour former ces dites ouvertures et lors d'une deuxième étape de surcroissance épitaxiale latérale (ELO) on procède à la croissance latérale des motifs de GaN tout d'abord déposés que l'on poursuit jusqu'à leur coalescence.

Une variante connue de la technologie de croissance s'appuie sur l'épitaxie en phase vapeur par pyrolyse d'organométalliques (EPVOM) selon un processus désormais bien établi (sur saphir) : traitement de la surface du saphir, nucléation à basse température d'une couche de GaN ou AlN, recuit jusqu'à la température de croissance finale de cette couche de nucléation et croissance à haute température de GaN ($1000-1100^\circ\text{C}$). Plusieurs technologies ont été développées pour optimiser au mieux cette hétéroépitaxie et limiter à environ $5 \times 10^8 \text{ cm}^{-2}$ la densité de dislocations dans

GaN notamment ; P. Vennéguès et al, J. Cryst. Growth, 187, 167(1998) ; S. Figge et al, J. Cryst. Growth, 221, 262(2000)

Sur SiC, la couche de nucléation à basse température n'est plus nécessaire, on réalise d'abord une couche de AlN à haute température avant le dépôt de GaN. Toutefois la densité de dislocations reste
5 sensiblement de l'ordre d'environ $5 \times 10^8 \text{cm}^{-2}$.

Quelle que soit la technologie, la densité des défauts étendus : dislocations, fautes d'empilement, domaines d'inversion, nanotubes atteint 5.10^8cm^{-2} . Les dislocations se propagent dans la direction de croissance et
10 émergent en surface où elles peuvent être identifiées par microscopie à force atomique (AFM) ou en cathodoluminescence (CL). Ces dislocations sont néfastes à plusieurs points de vue. D'abord, en densité élevée (supérieure à $5 \times 10^8 \text{cm}^{-2}$), les défauts dégradent la mobilité électronique ainsi que les propriétés optoélectroniques (intensité de photoluminescence,
15 durée de vie des porteurs). De plus, l'émergence des dislocations en surface se traduit par une dépression en surface (Heying et al., *J. Appl. Phys.*, 85, 6470, 1999). Dans une structure de diode laser à base de multipuits quantiques (MQWs) GaInN, les dislocations perturbent l'ordonnement des MQWs et provoquent une émission lumineuse non-
20 homogène. Enfin, les métaux utilisés pour les contacts ohmiques peuvent aussi diffuser à travers ces dislocations et nanotubes.

Ainsi, comme exposé ci-dessus, la surcroissance par épitaxie latérale (ELO) avec de nombreuses variantes, constitue l'une des méthodes
25 les plus pertinentes pour réduire la densité de dislocations de plusieurs ordres de grandeur, c'est à dire inférieure à environ 10^7cm^{-2} .

Toutefois cette méthode présente d'autres inconvénients notamment pour les couches GaN/saphir de qualité ELO. En effet, le substrat étant le saphir, le clivage de facettes reste très difficile. De plus, il subsiste dans les
30 couches de GaN obtenues par l'ELO des lignes à densité de défauts élevées correspondant aux joints de coalescence, sur lesquels il n'est pas recommandé de réaliser un composant, ce qui réduit la surface disponible pour la fabrication des composants optoélectroniques.

WO 03/100839

PCT/FR03/01615

4

La solution idéale serait ainsi de disposer de GaN de haute qualité cristalline de 50,8 mm (2 pouces) de diamètre comme c'est le cas pour la plupart des semiconducteurs.

Il est impossible de faire face à ces inconvénients et d'obtenir un
5 monocristal par fusion répondant à ce critère de diamètre, du fait des propriétés physico-chimiques de GaN. En effet, des monocristaux de GaN peuvent être obtenus par croissance en solution à haute température (1800K) sous pression hydrostatique (1,5 GPa). Mais, bien que de très bonne qualité cristalline (densité de dislocations inférieure à 10^4cm^{-2}), la
10 surface de ces cristaux n'excède pas 1cm^2 et le mode de production ne permet pas de faire face aux besoins mondiaux.

Par ailleurs, lorsqu'on utilise la technologie HVPE pour réaliser une couche de GaN, l'inconvénient reste que la densité de dislocations se situe autour de 10^7cm^{-2} . Plus précisément on réalise une couche très épaisse
15 (environ 500 μm) sur saphir en évitant la formation de fissures. Pour des épaisseurs de cet ordre, la densité de dislocations diminue jusque vers 10^7cm^{-3} . Puis, on sépare le substrat soit par abrasion mécanique, soit par séparation laser (LLO).

Pour obtenir un film de GaN séparé de son substrat, de bonne
20 qualité, c'est à dire à densité de dislocations inférieure à 10^7cm^{-2} , sur un diamètre d'au moins 50,8 mm (2 pouces), il faut tout d'abord utiliser la technologie ELO, puis séparer la couche de GaN formée de son substrat d'origine, et ensuite ré-épaissir la couche de GaN, ou encore réutiliser la couche de GaN ELO ainsi séparé pour une nouvelle croissance.

25 Le substrat peut être séparé par une voie chimique selon la technique divulguée dans EP 1 041 610, notamment si le substrat est choisi parmi Si, NdGaO_3 ou GaAs. Cette technique permet d'obtenir un film de GaN séparé de son substrat, de bonne qualité. Cette technique n'est pas applicable pour un substrat en saphir, qui est chimiquement inerte. Seule
30 l'ablation laser permet, actuellement, de séparer GaN de son substrat de saphir (LLO). Cette technique, comme décrite dans WO 98/14986, repose sur l'utilisation d'une émission laser UV pulsée qui traverse le saphir, mais

WO 03/100839

PCT/FR03/01615

qui est absorbée au niveau de GaN provoquant une décomposition thermique locale de GaN à l'interface.

Toutefois, il existe un besoin de disposer de techniques alternatives pour obtenir des films de GaN séparés de leur substrat, de 50,8 mm de diamètre et de qualité ELO, même si les techniques existantes (LLO, couche sacrificielle, abrasion) donnent de bons résultats.

Il est par ailleurs connu de la demande de brevet EP 533 551 que l'on peut fabriquer des films minces de matériaux semi-conducteurs selon le processus suivant :

Dans une première étape, on plante par bombardement des ions créant dans le semiconducteur, à une profondeur voisine de la profondeur moyenne de pénétration de ces ions, une couche de microcavités (ou bulles). Dans une seconde étape, un traitement thermique du semiconducteur ainsi implanté produit un réarrangement de la structure, et la pression induite par les microbulles permet une séparation d'un film mince du reste du semiconducteur.

Toutefois cette technique dite de « smart-cut » n'a jamais été utilisée pour le GaN.

Le but de l'invention est de proposer un procédé de réalisation d'un film de GaN séparé de son substrat, qui soit simple, rapide peu coûteux, et qui fournisse un film de GaN de qualité accrue.

Il est précisé que dans le cadre de la présente invention, le GaN peut être dopé ou non. A titre de substances dopantes on peut notamment citer le magnésium, le zinc, le béryllium, le calcium, le carbone, le bore et le silicium.

On emploie dans la description qui va suivre indépendamment le terme « film de GaN séparé de son substrat » ou « film de GaN autosupporté ».

Ainsi l'invention a pour objet un procédé de réalisation d'un film autosupporté de nitrure de gallium (GaN) à partir d'un substrat, par dépôt de GaN par épitaxie, caractérisé en ce que le dépôt de GaN comporte au

WO 03/100839

PCT/FR03/01615

moins une étape de surcroissance épitaxiale latérale (ELO) et en ce qu'il comporte une étape de séparation d'une partie de la couche de GaN de son substrat par fragilisation par implantation d'ions dans la couche de GaN directement.

5 Plus particulièrement l'invention concerne un procédé de réalisation d'un film de nitrure de gallium (GaN) tel que décrit ci-dessus, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes successives suivantes :

(i) le dépôt sur un substrat d'une couche de GaN par épitaxie en phase vapeur ou liquide.

10 (ii) une étape d'implantation d'ions de fragilisation de façon à créer dans la couche de GaN déposée lors de l'étape précédente une zone de fragilisation,

(iii) une étape de reprise par épitaxie par surcroissance épitaxiale latérale (ELO) pour former une nouvelle couche de GaN et,

15 (iv) une étape de séparation spontanée au niveau de la zone de fragilisation.

La ou les étapes de surcroissance épitaxiale latérale de GaN peuvent être effectuées en phase vapeur par exemple grâce aux techniques EPVOM, HVPE ou encore SVT ou liquide (LPE).

20 Ce procédé permet notamment de placer la zone de fragilisation dans une zone précisément souhaitée du fait que le GaN déposé lors de la reprise d'épitaxie ne gêne pas l'implantation d'ions. Ce procédé permet en outre d'utiliser les hautes températures de la reprise d'épitaxie comme étant le traitement thermique utile pour assurer le réarrangement de la structure.

25 Ce procédé permet enfin d'obtenir la séparation spontanée après les différentes phases d'épitaxie, et de traitements thermiques, à savoir depuis la reprise de croissance jusqu'au refroidissement à la fin de la phase de reprise d'épitaxie.

30 Ce procédé présente notamment l'avantage de ne pas nécessiter de fortes doses d'ions d'implantation mais encore de fournir des films de GaN d'épaisseur homogène et contrôlée, à savoir notamment très fins, de l'ordre de 0,1 μm .

WO 03/100839

PCT/FR03/01615

7

L'invention concerne également tout film de GaN susceptible d'être obtenu par ce procédé. Le film de GaN ainsi obtenu peut présenter une épaisseur variant de 100 à 5000 μm . Selon un mode particulier de réalisation de l'invention, le film de GaN obtenu peut présenter une

5 épaisseur d'au moins 0,1 mm.

La gamme d'épaisseur que l'on peut viser est donc très large.

Pour un grand nombre d'applications, on cherche à fabriquer des films de nitrure de gallium présentant une épaisseur de plus de 50 μm ; ces

10 films font partie de l'invention.

On propose également un composant optoélectronique et notamment une diode laser, une diode électroluminescente UV, un photodétecteur ou un transistor, caractérisé en ce qu'il est muni d'un film de

15 GaN susceptible d'être obtenu par le procédé de l'invention.

Les substrats initiaux peuvent présenter une épaisseur de quelques centaines de micromètres, généralement de l'ordre de 200 μm et peuvent être choisis parmi le saphir, ZnO, SiC, LiAlO₂, LiGaO₂, MgAlO₄, Si,

20 GaAs, AlN ou GaN. Les substrats peuvent être traités préalablement à tout dépôt de GaN par nitruration.

Lors de l'étape de dépôt sur un substrat d'une couche de GaN par épitaxie en phase vapeur (i), on effectue préférentiellement une

25 surcroissance épitaxiale latérale en phase vapeur (ELO) pour minimiser dès le début du procédé de l'invention la densité de défaut. On pourra notamment employer la technologie EPVOM, HVPE ou encore CSVT. On préfère lors de cette étape utiliser la technologie par EPVOM.

Les deux alternatives décrites ci-après relèvent toutes deux de la

30 technologie ELO, la deuxième alternative faisant appel à une technologie dite « ELO spontanée », qui a été décrite dans MRS Internet J. Nitride Semicond. Res. 7, 8(2002).

WO 03/100839

PCT/FR03/01615

Ainsi selon une première alternative de l'étape de dépôt sur le substrat d'une couche de GaN (i), on réalise en premier lieu, après avoir déposé sur le substrat une couche mince de GaN, un dépôt sur le substrat d'un diélectrique approprié, que l'on grave par exemple par photolithographie, de façon à définir des ouvertures, en second lieu une exposition des zones de la couche mince de GaN qui sont en regard et en dernier lieu un dépôt par épitaxie de GaN de façon à induire le dépôt de motifs de GaN sur les zones en regard et la croissance anisotrope et latérale des motifs, la surcroissance latérale étant maintenue jusqu'à coalescence des différents motifs. Cette première alternative dans la technique ELO est connue et notamment décrite dans la demande de brevet WO99/20816. En particulier les techniques de formation des masques sont connues de l'homme de l'art.

Les masques de diélectrique utiles lors de l'étape (i), peuvent être constitués de nitrure de silicium (SiN), SiO₂ ou W. On réalise le dépôt du diélectrique selon des techniques bien connues de l'homme de l'art.

Dans le cadre de cette première alternative de l'étape (i), le dépôt préalable de la couche mince de GaN (avant le dépôt du diélectrique à titre de masque) peut être précédé du dépôt d'une couche de nucléation par formation d'un film très mince de nitrure de silicium de sorte à obtenir des motifs ou îlots spontanés de GaN. Cette possibilité est exposée de façon très détaillée dans l'exemple 1 et également dans la demande de brevet WO99/20816.

Selon une deuxième alternative de l'étape de dépôt sur le substrat d'une couche de GaN (i), on élimine l'étape de la gravure d'un masque de diélectrique grâce à la formation spontanée de motifs de GaN sous forme d'îlots, jouant le même rôle. Plus précisément, on peut décrire cette deuxième alternative comme suit: On recouvre le substrat par une épaisseur de nitrure de silicium de l'ordre quelques plans atomiques, autrement dit de l'ordre de 10 nm à 20 nm d'épaisseur. Le dépôt de SiN à partir de silane et d'ammoniac peut durer 360 secondes au lieu de 30, la

WO 03/100839

PCT/FR03/01615

couche de SiN ainsi formée, est, comme le montre l'analyse en microscopie électronique à très haute résolution présentées dans l'article précité, discontinue ; il se forme donc spontanément un masque de SiN à l'échelle nanométrique, qui induit un processus ELO. Après achèvement de la formation de la couche de nitrure de silicium, on dépose une couche de GaN, dite couche tampon continue. L'épaisseur de cette couche peut être comprise entre 10 et 100 nm. La température lors de cette opération peut être comprise entre 500 et 700°C. On procède ensuite à un recuit à haute température comprise entre 900 et 1150°C. La couche tampon se convertit d'une couche continue à une couche discontinue formée de motifs de GaN, ou autrement dit de motifs de GaN sous forme d'îlots. Les zones où le nitrure de silicium est mis à nu fonctionnent alors comme un masque et les motifs de GaN fonctionnent comme les zones de GaN localisées dans les ouvertures réalisées *ex-situ* dans le masque. On procède enfin à un dépôt par épitaxie de GaN de la même façon que dans l'alternative précédente. Cette méthode, où le masque de nitrure de silicium se forme spontanément, et qui fait intervenir les mêmes mécanismes de courbure des dislocations que dans l'ELO est identifié comme « ELO spontané ».

20

L'implantation d'ions lors de l'étape (ii) peut être mise en œuvre lors d'une étape unique ou d'étapes successives. Les énergies d'implantation peuvent varier de 80 à 160 keV. Les ions d'implantation peuvent être choisis parmi H⁺, des ions de gaz rares tels que hélium, néon, krypton et xénon ainsi que du bore, que l'on peut utiliser seuls ou en combinaison. On préfère les ions H⁺ à titre d'ions d'implantation dans le cadre de la présente invention.

25

Conformément à l'invention, la température lors de l'implantation peut varier entre 4K et 1000K. A titre d'exemple, cette température peut être maintenue à la température ambiante lors de l'implantation d'ions H⁺ dans une couche de GaN. La température de traitement thermique lors de laquelle se produit le réarrangement cristallin, qui correspond à la température de l'épitaxie peut varier de 900 à 1150°C.

30

En terme de dose en ions d'implantation, lorsque celui-ci est l'ion H^+ , la dose préférée se situe entre 10^{16} et 10^{17} ions H^+ cm^{-2} . La profondeur d'implantation varie de 50 nm en partant de la surface libre jusqu'à l'interface GaN/substrat initial.

5 Lorsque l'étape (i) du procédé est mise en œuvre selon la deuxième variante décrite ci-dessus, l'implantation peut être effectuée à différents stades de la croissance soit dans les îlots, soit à un stade intermédiaire où les îlots ne sont pas entièrement coalescés, soit après coalescence totale.

10 L'étape de reprise par épitaxie (iii) peut être mise en œuvre par épitaxie en EPVOM, HVPE, CSVT ou encore LPE (épitaxie en phase liquide – liquide phase epitaxy). On préfère lors de cette étape mettre en œuvre la technologie HVPE.

15 La séparation spontanée en étape (iv) a lieu du fait du cycle thermique (reprise d'épitaxie à haute température et refroidissement) que subit la couche de GaN ELO lors de l'étape (iii) après implantation. Le rapport des épaisseurs de la couche et du substrat peut être de préférence supérieur à 0,5 pour la séparation spontanée.

20

D'autres caractéristiques, buts et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui va suivre d'un mode particulier de réalisation de l'invention, faite en référence aux figures 1 à 5 sur lesquelles :

25 - la figure 1 est une représentation d'une première étape de surcroissance épitaxiale latérale à deux étapes ;

- la figure 2 est une représentation d'une seconde étape de cette surcroissance épitaxiale latérale ;

30 - la figure 3 est une représentation d'une étape d'implantation d'ions H^+ dans une couche ELO ;

- la figure 4 est une représentation d'une étape de reprise d'épitaxie en HVPE ;

- la figure 5 est une représentation d'une étape de séparation spontanée de couche ELO.

L'obtention de GaN autosupporté s'effectue, selon ce mode
5 particulier de réalisation de l'invention, en trois étapes :

La première étape consiste en une croissance de GaN par
surcroissance épitaxiale latérale sur un substrat de saphir par EPVOM ;

La deuxième étape consiste en une implantation d'hydrogène ;

La troisième étape consiste en une reprise d'épitaxie en HVPE.

10 La première étape est schématisée par les figures 1 et 2 : après avoir épitaxié une couche de GaN, référencée 2, sur un substrat de saphir, référencé 1 on réalise *in situ* un dépôt de SiN (masques 3) puis, sur cette couche diélectrique, on grave par photolithographie des ouvertures 3bis selon des directions cristallographiques bien définies [1-100] ou [11-20]
15 GaN. Finalement, on reprend la croissance qui donne d'abord une épitaxie sélective 4.

A la fin de cette première phase, où la vitesse de croissance selon un axe C, orthogonal au plan principal du substrat, est supérieure à la vitesse de croissance latérale, on obtient des bandes à sections triangulaires avec
20 des facettes {11-22}. A l'intérieur de ces bandes à section triangulaire, les dislocations traversantes ont été courbées à 90°. Dans cette première phase d'épitaxie ELO, on procède ensuite à une surcroissance latérale pour aboutir au final à une couche plane ELO 5. On obtient à la fin de cette étape du procédé une couche de GaN présentant une densité de dislocations
25 inférieure à 10^7cm^{-2} .

Cet ensemble formé d'une couche GaN ELO 5 et du substrat de saphir 1 est implantée par des ions H^+ (figure 3) de telle sorte que l'on crée une zone de fragilisation 8 dans la couche ELO 5 à une profondeur comprise entre 50 nm et 5 μm . Les ions sont implantés à des doses
30 comprises entre 1×10^{15} et $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-2}$.

Lors de la reprise d'épitaxie réalisée ensuite sur cette couche ELO, à haute température, la zone implantée, conduit à une fragilisation du substrat

constitué par la couche ELO dans la zone de clivage. La couche ELO 5 constitue donc alors une zone de clivage privilégiée.

Cette couche fragilisée par l'implantation d'H⁺ est ensuite reprise par épitaxie HVPE. Plus précisément, après implantation, la structure ELO
5 fragilisée mais entière est placée sur le porte-substrat d'un réacteur HVPE. On dépose de 10 à 500 µm de GaN pour former une couche 7 (figure 4).

La technologie HVPE est très largement documentée et la reprise d'épitaxie en HVPE s'effectue ici selon l'état de l'art.

Lors de la reprise d'épitaxie de GaN par HVPE sur cette structure
10 ELO 5 implantée H, on obtient trois principaux effets intéressants.

Un premier effet est que la couche ELO 5 est épaissie sans perdre ses qualités cristallines (on ne génère ni nouvelle dislocation, ni fissure).

Un deuxième effet est que l'on réduit encore la densité de dislocation lors de reprise d'épitaxie en HVPE, d'un facteur au moins égal à 2.

15 Un troisième effet est que la couche globale 5,7 ainsi obtenue se sépare spontanément de son substrat initial de saphir 1 durant cycle thermique qui, à cause de la différence de coefficients de dilatation thermique du saphir 1 et des couches GaN 5, 7 engendre des contraintes, et on obtient ainsi un film de GaN autosupporté 8 de qualité ELO.

20 Ce film de GaN autosupporté présente une surface où, comme il est courant en HVPE, on observe des excroissances sous forme de pyramides hexagonales, et sur une face arrière, constituée par la zone de fracture on peut en effet identifier des motifs géométriques correspondant à la structure ELO de départ.

25 On a ainsi obtenu un film de GaN autosupporté de qualité ELO, c'est à dire avec une densité de dislocations inférieure à 10^7cm^{-2} .

La figure 6 présente la courbe de réflectivité mesurée *in situ* en temps réel lors de la croissance " d'ELO spontané" lors de l'étape (i). Les
30 clichés (a), (b) et (c) sont des images en microscope électronique à balayage des îlots de GaN allant de leur formation spontanée à leur coalescence. Ce mode particulier de réalisation est illustré par l'exemple 2 ci-après.

Les films de GaN obtenus selon le procédé de la présente invention peuvent être polis et utilisés comme films de haute qualité pour la fabrication de composants à base de GaN (électroniques ou optoélectroniques tels que diodes laser, diodes électroluminescentes, photodétecteurs, transistors).

D'autres avantages de la présente technologie par rapport à l'état de l'art sont qu'elle permet de réutiliser plusieurs fois le substrat de départ après séparation de la partie HVPE et repolissage, et qu'elle permet de séparer, par exemple par implantation d'ions H^+ dans le GaN autosupporté des membranes très minces, dont l'épaisseur peut être comprise entre 5 nm et 50 nm de GaN et de les rapporter ensuite sur un substrat bon marché (tel que AlN céramique).

Ainsi l'invention a également pour objet le substrat après séparation de la couche de nitrure de gallium par implantation d'ions, comportant une partie du GaN directement déposé sur le substrat lors de l'étape (i) du procédé selon l'invention, à titre de nouveau substrat pouvant être utilisé pour une reprise par épitaxie de GaN.

L'utilisation du substrat après séparation de la couche de nitrure de gallium par implantation d'ions, comportant une partie du GaN directement déposé sur le substrat lors de l'étape (i) du procédé selon la présente invention, à titre de nouveau substrat pour une reprise par épitaxie de GaN fait également partie de l'invention.

Disposer de films de GaN autosupportés présente un intérêt considérable pour la fabrication de diodes laser.

En effet, l'utilisation de GaN autosupporté plutôt que GaN ELO/saphir (ou SiC) permet de réaliser des composants laser avec contact face avant et face arrière, et surtout permet de faciliter le clivage des facettes pour réaliser une cavité Fabry-Pérot.

WO 03/100839

PCT/FR03/01615

Exemple 1 : Etape (I) selon la première alternative

On utilise un réacteur horizontal ou vertical pour l'épitanie EVPOM. Dans l'exemple décrit on utilise un réacteur vertical, avec une chambre de croissance cylindrique de 55 mm de diamètre pour recevoir un substrat de 2".

Etape (i)

On dépose sur un substrat de saphir d'épaisseur 250 μm à 430 μm une couche de GaN par EPVOM en utilisant une procédure particulière qui permet d'obtenir spontanément des îlots par un traitement consistant à recouvrir le substrat par un film de nitrure de silicium dont l'épaisseur est de l'ordre de 0,1 nm. Explicitement, un substrat, notamment en saphir est porté à une température d'environ 1050-1120°C pour être nitruré par exposition à un flux de NH_3 pendant environ 10 minutes.

Dépôt d'une couche de nucléation

Après cette étape de nitruration, on forme sur la surface un film très mince de nitrure de silicium, le film étant obtenu par réaction entre NH_3 et du silane SiH_4 pendant un temps suffisamment long pour limiter l'épaisseur du film à celle d'un plan atomique. Les conditions opératoires sont les suivantes :

Le véhicule gazeux est un mélange d'azote et d'hydrogène en proportion égales (4 sl/mn). L'ammoniac est introduit avec un débit de 2 sl/mn tandis que le silane, sous forme diluée à 50 ppm dans de l'hydrogène, est introduit avec un débit de 50 scc/mn. Dans ces conditions la durée typique de réaction entre NH_3 et SiH_4 est de l'ordre de 30 secondes. Les étapes successives sont suivies par réflectométrie laser.

Après achèvement de la couche de nitrure de silicium, une couche de nitrure de gallium d'épaisseur 20 à 30 nm est déposée sur le film de diélectrique. Le précurseur de gallium est le triméthylgallium (TMGa). La couche de dépôt est faite à basse température, de l'ordre de 600°C.

Après achèvement du dépôt de la couche de GaN, on procède à un recuit à haute température de l'ordre de 1080°C. Sous l'effet conjoint de

l'élévation de température, de la présence dans le véhicule gazeux d'une quantité d'hydrogène suffisante et de la présence du film très mince de nitrure de silicium sous la couche de GaN, la morphologie de ladite couche subit une profonde modification résultant d'une recristallisation en phase
5 solide par transport de masse. Lorsque la température approche les 1060°C, on note que la réflectivité de la couche tampon diminue soudainement : la couche tampon initialement continue est alors convertie en une couche discontinue formée d'îlots de nitrure de gallium. En fin de ce processus spontané in-situ de recristallisation, on obtient des motifs ou îlots
10 de GaN de très bonne qualité cristalline et conservant une relation d'épitaxie avec le substrat grâce à la très faible épaisseur de la couche de nitrure de silicium. Les motifs ou îlots de GaN sont isolés les uns des autres par des zones où la couche de nitrure de silicium est mise à nu. Les hauteurs caractéristiques des îlots sont de l'ordre de 240 nm.

15 Lors de la reprise ultérieure en épitaxie par du nitrure de gallium sur la surface de l'échantillon, les zones où la couche de nitrure de silicium est mise à nu fonctionnent comme un masque pour l'ELO, et les motifs ou îlots de GaN ainsi formés spontanément sont analogues à des motifs ELO ponctuels.

20 Dépôt d'une couche mince de nitrure de gallium non dopé préalablement à l'étape d'ELO

Après le dépôt de la couche de nucléation, on dépose par épitaxie en phase vapeur par pyrolyse d'organométalliques une couche mince de GaN de 2 µm d'épaisseur. La source de gallium est le Triméthylgallium (TMGa)
25 et la source d'azote est l'ammoniac. Une telle méthode est décrite dans de nombreux documents.

Dépôt d'une couche de GaN ELO (utilisation d'un masque diélectrique)

Après la croissance de la couche mince de nitrure de gallium décrite
30 ci-dessus, on dépose une fine couche de nitrure de silicium en tant que masque diélectrique en utilisant SiH₄ et NH₃ avec des débits de 50 sccm et 2 slm respectivement. Bien qu'extrêmement fine, cette couche de SiN s'est révélée être un masque parfaitement sélectif. La gravure par

WO 03/100839

PCT/FR03/01615

16

photolithographie et attaque ionique réactive est alors effectuée pour réaliser des ouvertures linéaires de 3 μm espacées de 7 μm . Les ouvertures linéaires sont avantageusement orientées dans la direction [10-10] de GaN, bien que la variante du procédé décrite dans cet exemple puisse être conduite pour d'autres orientations linéaires, notamment [11-20].

La reprise par épitaxie sur les zones dégagées est effectuée par du GaN non intentionnellement dopé dans des conditions opératoires telles que la vitesse de croissance selon la direction [0001] des motifs excède suffisamment la vitesse de croissance selon la direction normale aux flancs inclinés des dits motifs. Dans de telles conditions, l'anisotropie de croissance conduit à la disparition de la facette (0001). Le premier temps de la mise en œuvre du procédé ELO s'achève lorsque la disparition de la facette (0001) du motif GaN est assurée. En fin du premier temps, les motifs de GaN ont pris la forme de bandes dont la section est triangulaire.

Le deuxième temps de l'ELO consiste en la reprise en épitaxie en modifiant les conditions de croissance pour changer l'anisotropie de croissance pour qu'elle devienne favorable à la planéisation des motifs de GaN. Comme décrit dans WO 99/20816, ceci peut être obtenu soit en ajoutant du magnésium dans la phase vapeur soit en augmentant la température. Durant ce deuxième temps, les motifs de GaN se développent avec une expansion de la facette (0001) (qui réapparaît au sommet de chaque motif) tandis que la surface des facettes latérales diminue. Le deuxième temps prend fin lorsque les flancs ont disparu, la surface supérieure du dépôt formée par les motifs coalescés est plane. Cette structure est implantée par des ions H^+ dans une étape (ii) et reprise en HVPE comme suit :

Etape (iii) : Reprise en HVPE de la couche ELO implantée.

Après avoir subi une implantation d'ions d'hydrogène dans des doses comprises entre 1×10^{15} et $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2}$, la couche ELO est réutilisée comme substrat et placée dans un réacteur HVPE afin d'obtenir une épaisseur de GaN suffisante pour produire l'effet de séparation spontanée.

WO 03/100839

PCT/FR03/01615

La montée en température s'effectue dans une atmosphère mixte d'azote (2,5 slm) et d'ammoniac (0,5 slm). Dès que la température de 1030°C est atteinte, la phase vapeur est modifiée, un mélange de 0,5 slm d'azote et de 2 slm d'hydrogène est maintenu comme nouveau gaz vecteur, tandis que le débit d'ammoniac est réduit à 0,4 slm.

La première phase de la croissance d'une couche épaisse de GaN est alors amorcée en introduisant dans la phase vapeur un débit de 15 sccm de chlorure de gallium obtenu par réaction de 15 sccm de HCl avec du gallium liquide maintenu à une température égale à celle du substrat (1030°C). Dès que le chlorure de gallium est mis en contact avec l'ammoniac, il y a formation instantanée de GaN qui se dépose sur le substrat avec une vitesse de croissance d'environ 40 µm par heure avec ces débits.

Il est nécessaire d'obtenir un film de GaN suffisamment épais, donc suffisamment résistant d'un point de vue mécanique pour que la séparation ultérieure implique toute la surface traitée et donc pour éviter la fracture de la couche de GaN en morceaux de faible surface. La croissance se poursuit ainsi durant plusieurs heures dans ces conditions expérimentales afin d'atteindre une épaisseur d'au moins 200 µm de la couche de GaN.

La croissance est alors interrompue et tout en restant sous flux d'ammoniac, les paramètres expérimentaux sont modifiés afin de réduire la rugosité de la surface qui est très importante dans les conditions opératoires décrites précédemment. La température de croissance est portée à 1050°C, le flux d'ammoniac est augmenté jusqu'à 1 slm et la composition du gaz vecteur est modifiée pour avoir un mélange de 1 slm d'hydrogène et de 1,5 slm d'azote.

Dès que la température du substrat atteint 1050°C, la croissance est alors reprise en introduisant un débit de 5 sccm de HCl sur le gallium liquide conduisant à un débit de 5 sccm de chlorure de gallium dans la phase vapeur. La croissance est poursuivie dans ces nouvelles conditions pendant environ 2 heures.

La croissance est alors définitivement achevée en dérivant le flux de HCl vers l'extérieur et le refroidissement s'opère dans une atmosphère

WO 03/100839

PCT/FR03/01615

18

constituée uniquement d'azote et d'ammoniac avec une rampe de température de 2.5°C par minute. Quand la température du substrat est inférieure à 800°C on peut complètement interrompre le débit d'ammoniac.

- 5 L'étape (iv) de séparation se fait spontanément par refroidissement.

Exemple 2 : Etape (i) selon la deuxième alternative

- 10 Dans l'exemple 2 on utilise un réacteur vertical 3×2" où les gaz actifs sont distribués par un système de douche qui permet de séparer les flux gazeux d'ammoniac et de triméthylgallium.

- Explicitement, un substrat, comme décrite dans MRS Internet J. Nitride Semicond. Res. 7, 8(2002), notamment en saphir est porté à une température d'environ 1050-1120°C pour être nitruré par exposition à un flux de NH₃ pendant environ 10 minutes.

Etape (i) : couche mince de GaN par ELO spontané

- 20 Après cette étape de nitruration, on forme sur la surface un film mince de nitrure de silicium, le film étant obtenu par réaction entre NH₃ et du silane SiH₄ pendant un temps suffisamment long pour limiter l'épaisseur du film à quelques plans atomique. Les conditions opératoires sont les suivantes :

- 25 Le véhicule gazeux est un mélange d'azote et d'hydrogène en proportion égales (10 sl/mn). L'ammoniac est introduit avec un débit de 8 sl/mn tandis que le silane, sous forme diluée à 1000 ppm dans de l'hydrogène, est introduit avec un débit de 50 scc/mn. Dans ces conditions la durée typique de réaction entre NH₃ et SiH₄ est de l'ordre de 300 secondes. La technologie de croissance est ensuite identique à l'exemple 1 :

- Dépôt d'une couche de GaN à 600°C
- Recuit à 1080°C (formation d'îlots).

WO 03/100839

PCT/FR03/01615

Les étapes successives sont suivies par réflectométrie laser. (Fig. 6). La Figure 6 montre aussi la courbe de réflectivité correspondant à l'exemple 1. La durée plus longue du dépôt de nitrure de silicium (360 secondes comparée à 30 secondes lors du dépôt d'une couche de nucléation comme à l'exemple 1) induit une coalescence totale de tous les îlots beaucoup plus longue (c'est-à-dire qui dure plus longtemps ? précisons ?), mais produit un substrat GaN de meilleure qualité, typiquement avec des densités de dislocations inférieures à 10^8cm^{-2} .

C'est ce substrat, élaboré selon cette technologie identifiée comme "ELO spontané", qui sera ensuite implanté lors d'une étape (ii) (on ne réalise plus de structure ELO par dépôt d'un masque, ouverture dans ce masque et reprise de croissance).

Etape (iii): Reprise en HVPE de la couche "ELO spontané"
implantée

Après avoir subi une implantation d'ions d'hydrogène dans des doses comprises entre 1×10^{15} et $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-2}$, la couche "ELO spontané" est réutilisée comme substrat et placée dans un réacteur HVPE afin d'obtenir une épaisseur de GaN suffisante pour produire l'effet de séparation spontanée. Contrairement à l'exemple 1, l'implantation peut être effectuée à différents stades de la croissance soit dans les îlots, soit à un stade intermédiaire où les îlots ne sont pas entièrement coalescés, soit après coalescence totale. Ces trois possibilités sont indiquées par une flèche sur la Figure 6.

La reprise d'épitaxie s'effectue dans un réacteur HVPE horizontal 1x2". La montée en température s'effectue dans une atmosphère mixte d'azote (2,5 slm) et d'ammoniac (0,5 slm). Dès que la température de 1030°C est atteinte, la phase vapeur est modifiée, un mélange de 0,5 slm d'azote et de 2 slm d'hydrogène est maintenu comme nouveau gaz vecteur, tandis que le débit d'ammoniac est réduit à 0,4 slm.

La première phase de la croissance d'une couche épaisse de GaN est alors amorcée en introduisant dans la phase vapeur un débit de

WO 03/100839

PCT/FR03/01615

20

15 sccm de chlorure de gallium obtenu par réaction de 15 sccm de HCl avec du gallium liquide maintenu à une température égale à celle du substrat (1030°C). Dès que le chlorure de gallium est mis en contact avec l'ammoniac, il y a formation instantanée de GaN qui se dépose sur le

5 substrat avec une vitesse de croissance d'environ 40 μm par heure avec ces débits.

Il est nécessaire d'obtenir un film de GaN suffisamment épais, donc suffisamment résistant d'un point de vue mécanique pour que la séparation ultérieure implique toute la surface traitée et donc pour éviter la fracture de

10 la couche de GaN en morceaux de faible surface. La croissance se poursuit ainsi durant plusieurs heures dans ces conditions expérimentales afin d'atteindre une épaisseur d'au moins 200 μm de la couche de GaN.

La croissance est alors interrompue et tout en restant sous flux d'ammoniac, les paramètres expérimentaux sont modifiés afin de réduire la rugosité de la surface qui est très importante dans les conditions

15 opératoires décrites précédemment. La température de croissance est portée à 1050°C, le flux d'ammoniac est augmenté jusqu'à 1 slm et la composition du gaz vecteur est modifiée pour avoir un mélange de 1slm d'hydrogène et de 1,5 slm d'azote.

20 Dès que la température du substrat atteint 1050°C, la croissance est alors reprise en introduisant un débit de 5 sccm de HCl sur le gallium liquide conduisant à un débit de 5 sccm de chlorure de gallium dans la phase vapeur. La croissance est poursuivie dans ces nouvelles conditions pendant environ 2 heures.

25 La croissance est alors définitivement achevée en dérivant le flux de HCl vers l'extérieur et le refroidissement s'opère dans une atmosphère constituée uniquement d'azote et d'ammoniac avec une rampe de température de 2,5°C par minute. Quand la température du substrat est inférieure à 800°C on peut complètement interrompre le débit d'ammoniac.

30

Le substrat autosupporté qui s'est séparé spontanément lors d'une étape (iv) après le cycle thermique, reprise de croissance HVPE et refroidissement présente une densité de dislocations inférieure à 10^7cm^{-2} .

REVENDICATIONS

1. Procédé de réalisation d'un film de nitrure de gallium (GaN) à partir d'un substrat, par dépôt de GaN par épitaxie, caractérisé en ce que le
5 dépôt de GaN comporte au moins une étape de surcroissance épitaxiale latérale (ELO) et en ce qu'il comporte une étape de séparation d'une partie de la couche de GaN de son substrat par fragilisation par implantation d'ions dans la couche de GaN directement.

2. Procédé de réalisation d'un film de nitrure de gallium (GaN) selon
10 la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes successives suivantes :

- (i) le dépôt sur un substrat d'une couche de GaN par épitaxie en phase vapeur ou liquide,
- (ii) une étape d'implantation d'ions de fragilisation de façon à créer dans la
15 couche de GaN déposée lors de l'étape précédente une zone de fragilisation,
- (iii) une étape de reprise par épitaxie par surcroissance épitaxiale latérale (ELO) pour former une couche de GaN et,
- (iv) une étape de séparation spontanée au niveau de la zone de
20 fragilisation.

3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que le dépôt de GaN lors de l'étape (i) est effectué par épitaxie par surcroissance épitaxiale latérale ELO en phase vapeur ou liquide.

4. Procédé selon la revendication 3, caractérisée en ce que l'on met
25 en œuvre l'étape (i) par la technologie par épitaxie en phase vapeur à partir d'halogénures et d'hydrures (HVPE), par la technologie par épitaxie en phase vapeur par pyrolyse d'organométalliques (EPVOM) ou par sublimation (CSVV).

5. Procédé selon la revendication 3 ou 4, caractérisé en ce que
30 l'étape (i) comporte les étapes suivantes :

- dépôt d'une couche de GaN,
- dépôt d'une couche de diélectrique que l'on grave pour obtenir des ouvertures,

WO 03/100839

PCT/FR03/01615

22

- dépôt de GaN dans les zones de GaN localisées dans les ouvertures puis,

- dépôt de GaN donnant lieu à une surcroissance latérale jusqu'à coalescence des motifs de GaN.

5 6. Procédé selon la revendication 3 ou 4, caractérisé en ce que l'étape (i) est une étape d'ELO spontané qui comporte les étapes suivantes :

- dépôt de nitrure de silicium d'une épaisseur de l'ordre de 10 à 20 nm,

10 - dépôt d'une couche tampon continue de GaN,

- recuit à haute température comprise entre 1050 et 1120°C de sorte que la couche tampon se convertit d'une couche continue à une couche discontinue formée de motifs de GaN sous forme d'îlots puis,

- dépôt par épitaxie de GaN.

15 7. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que l'implantation est effectuée soit dans les îlots, soit à un stade intermédiaire où les îlots ne sont pas entièrement coalescés, soit après coalescence totale de ces îlots.

20 8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que les ions d'implantation peuvent être choisis parmi H⁺, des ions de gaz rares tels que hélium, néon, krypton ainsi que du bore.

9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que les énergies d'implantation peuvent varier de 80 à 160 keV.

25 10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que les ions implantés dans la couche de GaN sont des ions H⁺.

30 11. Procédé selon la revendication 10, caractérisé en ce que les ions d'implantation sont des ions H⁺ et la dose d'implantation en ions H⁺ varie de 10¹⁶ à 10¹⁷ cm⁻².

12. Procédé selon l'une quelconque des revendications 2 à 11, caractérisé en ce que la séparation spontanée au niveau de la zone de fragilité de la couche formée lors de l'étape (i) définie à la revendication 2,

WO 03/100839

PCT/FR03/01615

23

est mise en oeuvre par un retour à température ambiante après la reprise d'épithaxie.

13. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, caractérisé en ce que la profondeur d'implantation varie de 50 nm jusqu'à l'interface GaN/substrat initial.

14. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, caractérisé en ce que le substrat est choisi parmi le saphir, ZnO, 6H-SiC, LiAlO₂, LiAlO₂, LiGaO₂, MgAlO₄, Si, GaAs, AlN ou GaN.

15. Procédé selon la revendication 14, caractérisé en ce que le substrat est un substrat en saphir.

16. Procédé selon l'une quelconque des revendications 2 à 15, caractérisé en ce que la surcroissance épithaxiale latérale selon l'étape (iii) telle que définie à la revendication 2 est effectuée par épithaxie en EPVOM, en HVPE, en CSVT ou en épithaxie en phase liquide (LPE).

17. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 16, caractérisé en ce que le nitrure de gallium est dopé lors d'au moins une des étapes de surcroissance épithaxiale latérale par une substance dopante pouvant être choisie parmi le magnésium, le zinc, le béryllium, le calcium, le carbone, le bore ou le silicium.

18. Film de nitrure de gallium, caractérisé en ce qu'il est susceptible d'être obtenu par un procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 17.

19. Film de nitrure de gallium selon la revendication 18, caractérisé en ce qu'il présente une épaisseur supérieure à 50 µm.

20. Substrat après séparation de la couche de nitrure de gallium par implantation d'ions selon le procédé tel que défini dans l'une quelconque des revendications 1 à 17, comportant une partie du GaN directement déposé sur le substrat lors de l'étape (i) telle que définie dans la revendication 2, à titre de nouveau substrat pouvant être utilisé pour une reprise par épithaxie de GaN ultérieure.

21. Utilisation du substrat après séparation de la couche de nitrure de gallium par implantation d'ions selon le procédé tel que défini dans l'une quelconque des revendications 1 à 17, comportant une partie du GaN

WO 03/100839

PCT/FR03/01615

24

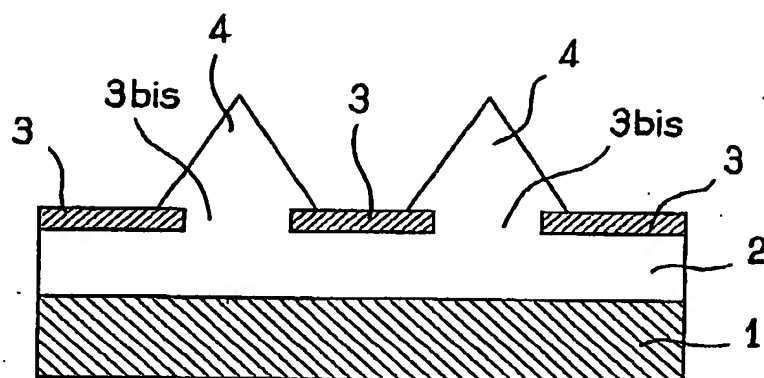
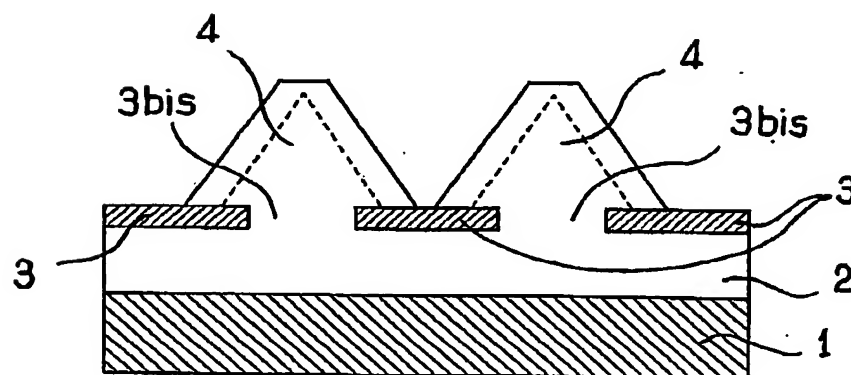
directement déposé sur le substrat lors de l'étape (i) telle que définie dans la revendication 2, à titre de nouveau substrat pour une reprise par épitaxie de GaN.

22. Composant optoélectronique, caractérisé en ce qu'il est muni
5 d'un film de GaN selon la revendication 18 ou 19.

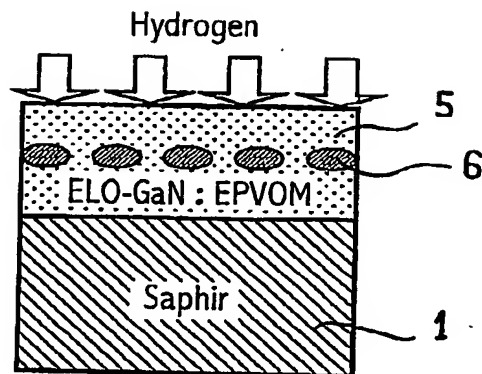
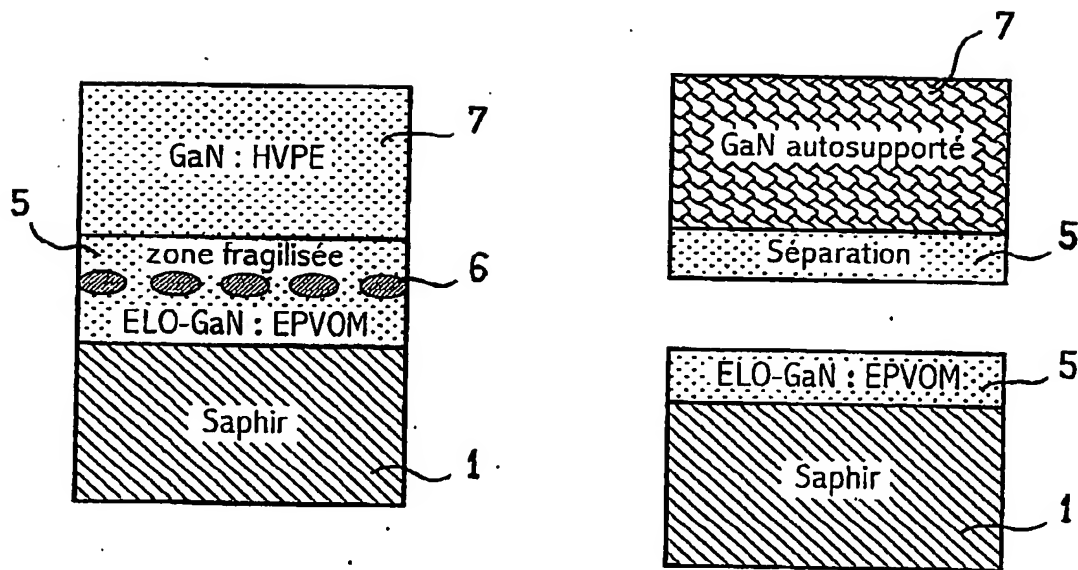
23. Diode laser, diode électroluminescente UV, photodétecteur ou transistor, caractérisé en ce qu'il est muni d'un film de GaN selon la revendication 18 ou 19.

10

1/3

FIG.1FIG.2

2/3

FIG.3FIG.4FIG.5

3/3

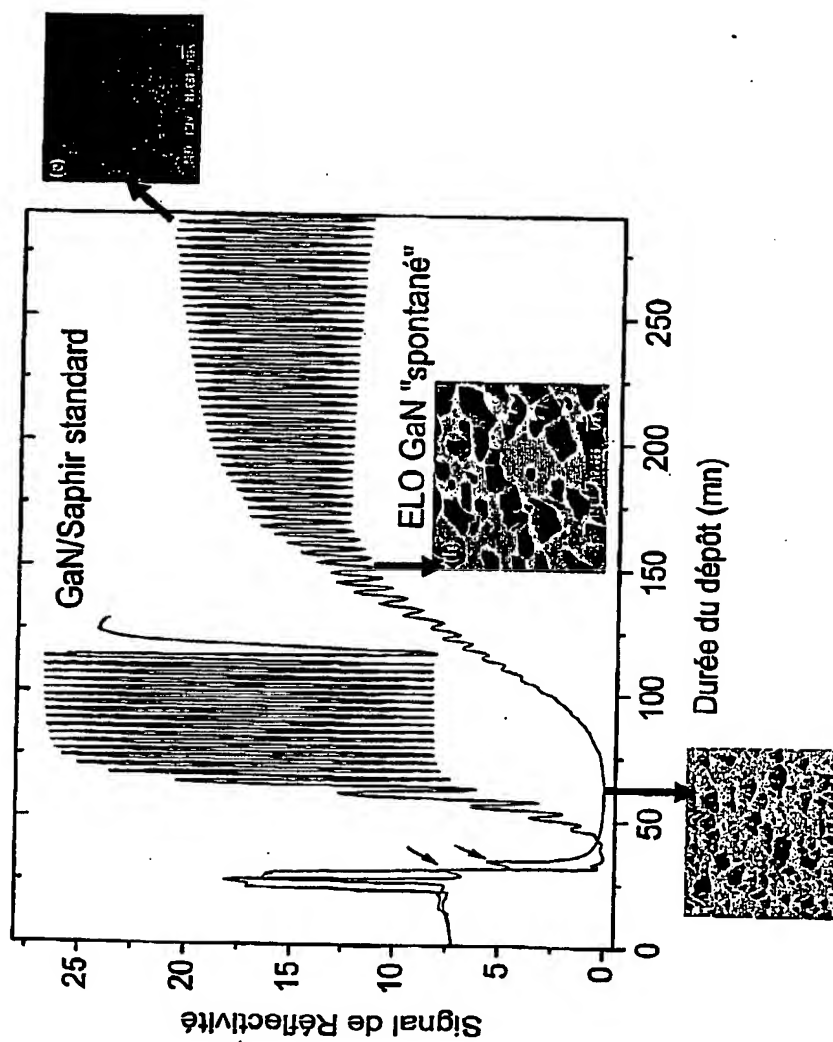


FIG.6